



TESIS - TE142599

# **OPTIMASI LOKASI DAN KAPASITAS KAPASITOR PADA KONDISI BEBAN BERUBAH TERHADAP WAKTU UNTUK MINIMISASI RUGI-RUGI ENERGI MENGUNAKAN ALGORITMA ACCELERATED PARTICLE SWARM OPTIMIZATION**

NIKEN ADRIATY BASYARACH  
2215201209

DOSEN PEMBIMBING  
Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.  
Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT.

PROGRAM MAGISTER  
BIDANG KEAHLIAN TEKNIK SISTEM TENAGA  
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNOLOGI ELEKTRO  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2017





TESIS - TE142599

**OPTIMASI LOKASI DAN KAPASITAS KAPASITOR  
PADA KONDISI BEBAN BERUBAH TERHADAP  
WAKTU UNTUK MINIMISASI RUGI-RUGI ENERGI  
MENGUNAKAN ALGORITMA ACCELERATED  
PARTICLE SWARM OPTIMIZATION**

NIKEN ADRIATY BASYARACH  
2215201209

DOSEN PEMBIMBING  
Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.  
Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT.

PROGRAM MAGISTER  
BIDANG KEAHLIAN TEKNIK SISTEM TENAGA  
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNOLOGI ELEKTRO  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2017



## LEMBAR PENGESAHAN

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
Magister Teknik (M.T)  
di  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh:

Niken Adriaty Basyarach  
NRP. 2215201209

Tanggal Ujian : 12 Juni 2017  
Periode Wisuda : September 2017

Disetujui oleh:

1. Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D. (Pembimbing I)  
NIP: 194907151974121001
2. Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT. (Pembimbing II)  
NIP: 196404051990021001
3. Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT. (Penguji)  
NIP: 197411292000121001
4. Dr. Eng. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng. (Penguji)  
NIP: 197309271998031004
5. Dimas Anton Asfani, ST., MT., Ph.D. (Penguji)  
NIP: 198109052005011002



Dekan Fakultas Teknologi Elektro

Dr. Ir. Arief Sardjono, S.T., M.T.  
NIP. 197002121995121001



## **PERNYATAAN KEASLIAN TESIS**

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi keseluruhan Tesis saya dengan judul “**OPTIMASI LOKASI DAN KAPASITAS KAPASITOR PADA KONDISI BEBAN BERUBAH TERHADAP WAKTU UNTUK MINIMISASI RUGI-RUGI ENERGI MENGGUNAKAN ALGORITMA ACCELERATED PARTICLE SWARM OPTIMIZATION**” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juli 2017

Niken Adriaty Basyarach  
2215201209

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



# **OPTIMASI LOKASI DAN KAPASITAS KAPASITOR PADA KONDISI BEBAN BERUBAH TERHADAP WAKTU UNTUK MINIMISASI RUGI-RUGI ENERGI MENGGUNAKAN ALGORITMA ACCELERATED PARTICLE SWARM OPTIMIZATION**

Nama mahasiswa : Niken Adriaty Basyarach  
NRP : 2215201209  
Pembimbing : 1. Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.  
2. Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT.

## **ABSTRAK**

Pemasangan kapasitor pada sistem distribusi merupakan salah satu metode yang paling efisien untuk mengurangi rugi-rugi energi. Pada penelitian ini membahas tentang optimasi lokasi dan kapasitas kapasitor pada kondisi beban yang berubah terhadap waktu untuk meminimalkan rugi-rugi energi pada sistem distribusi. Lokasi penempatan kapasitor berdasarkan pada jumlah bus pada jaringan distribusi menggunakan analisa *Loss Sensitivity Factor* (LSF). Sedangkan untuk menentukan kapasitas kapasitor dibatasi oleh total daya beban dan nilai faktor daya pada jaringan distribusi. Kemudian dioptimalkan menggunakan algoritma *Accelerated Particle Swarm Optimization* (APSO).

Lokasi kapasitor pada penelitian ini dipilih tetap (fix) pada semua kondisi beban. Kapasitor *fixed* dan kapasitor *switched* dipertimbangkan saat kondisi perubahan beban. Kapasitor *fixed* selalu terhubung pada sistem yakni pada saat beban rendah. Sedangkan kapasitor *switched* yang *on/off* sesuai kondisi perubahan beban yakni pada saat beban naik atau beban mencapai maksimum.

Skema ini diujikan pada sistem distribusi 20kV di Medan. Hasil simulasi kondisi awal memiliki rugi energi sebesar 21.21 kWh dengan tegangan minimum 0.9887 p.u.. Setelah dilakukan pemasangan kapasitor dengan menggunakan metode APSO maka didapatkan penurunan rugi-rugi energi menjadi 15.782 kWh dengan tegangan minimum 0.9956 p.u.. Sedangkan dengan menggunakan metode PSO penurunan rugi rugi energi menjadi 15.89 kWh. Hasil simulasi menunjukkan bahwa menggunakan algoritma APSO menunjukkan performa yang stabil dan konvergensi yang lebih baik dibanding algoritma PSO.

Kata kunci: Algoritma *Accelerated Particle Swarm Optimization*, Kapasitor *fixed*, Kapasitor *switched*, *Loss Sensitivity Factor*, Rugi-rugi energi.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# **OPTIMAL CAPACITOR PLACEMENT AND SIZING WITH TIME VARYING LOAD FOR ENERGY LOSS REDUCTION USING ACCELERATED PARTICLE SWARM OPTIMIZATION**

By : Niken Adriaty Basyarach  
Student Identity Number : 2215201209  
Supervisor(s) : 1. Prof. Ir. Ontoseno P., M.Sc, Ph.D.  
2. Prof. Ir. Adi Soeprijanto, MT.

## **ABSTRACT**

Installation of capacitors in the distribution system is one of the most efficient methods to reduce energy losses. This study discusses the optimization of location and size of capacitor under time-varying load conditions for energy losses reduction. The location of capacitor placement is based on the number of buses on the distribution network. The proposed methodology uses Loss Sensitivity Factor (LSF) analysis to determine the location of the capacitor. The sizes of capacitor is limited by total load power and the power factor value in distribution network, and then it is optimized by an Accelerated Particle Swarm Optimization (APSO) algorithm.

In this study, the location of the capacitor was selected fix at all load conditions. Fixed capacitors and switched capacitors are considered when uncertainty in variation of loads. Fixed capacitors are always connected to the system when the load is low. While, switched capacitors are on / off according to the condition of the variations load when the load increases or the load reaches the maximum.

This scheme is tested on a 20kV distribution system in Medan. The result of the initial condition simulation have a 21.21 kWh of energy loss and 0.9887 of minimum voltage. After the installation of capacitors using APSO are obtained 15.782 kWh of energy losses and 0.9956 of minimum voltage. PSO base approach can reduce real energy losses to 15.89 kWh. The simulation results show that using APSO algorithm shows stable performance and better convergence than PSO algorithm.

Key words: accelerated particle swarm optimization algorithm, energy losses, fixed capacitor, loss sensitivity factor, switched capacitor,

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## KATA PENGANTAR

*Alhamdulillah Robbil 'Alamin*, dengan mengucapkan puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, hidayah serta karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tesis yang berjudul **“OPTIMASI LOKASI DAN KAPASITAS KAPASITOR PADA KONDISI BEBAN BERUBAH TERHADAP WAKTU UNTUK MINIMISASI RUGI-RUGI ENERGI MENGGUNAKAN ALGORITMA ACCELERATED PARTICLE SWARM OPTIMIZATION”**. Adapun tujuan dari penyusunan Tesis ini adalah sebagai salah satu persyaratan untuk mendapatkan gelar master teknik pada bidang studi Teknik Sistem Tenaga, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Dalam penyusunan laporan Tesis ini, kami banyak mendapatkan bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis dengan tulus ikhlas menyampaikan banyak terima kasih kepada :

1. Mama, Ayah, Emak, Bapak, Mas aan dan Mbak yanti atas dukungan, semangat, doa untuk keberhasilan penulis.
2. Bapak Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc, Ph.D. dan Bapak Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, M.T. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan saran, nasehat serta bimbingannya selama ini.
3. Bapak Soedibyo, S.T, M.MT. dan Bapak Dimas Fajar Uman Putra, S.T, M.T. selaku dosen wali penulis dan dosen di Laboratorium Simulasi Sistem Tenaga yang telah memberikan sarannya.
4. Seluruh dosen dan administrasi Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
5. Seluruh teman-teman S2 Sistem Tenaga khususnya angkatan 2015 genap (Firilia, Wildan, Trisna, Dini, Mas Iwan, Mas Kintrung, Mas Isa, Khalil, Pak alvin dan Pak Alfredo) atas dukungan, semangat, kebersamaan, bantuan serta kerjasama selama ini.

6. Mas Yoakim, Mas Vicky, Mas Aji, Adam, Gilang, Bagus, Febri, Deden, Ozi, Saifi, juga seluruh rekan-rekan asisten Laboratorium Simulasi Sistem Tenaga atas bantuan, dukungan dan kerjasama selama ini.
7. Seluruh rekan-rekan Laboratorium Konversi Energi terima kasih telah menyediakan tempat untuk mengerjakan Tesis dan untuk bantuan serta kerjasamanya.
8. Semua pihak yang telah banyak membantu untuk menyelesaikan Tesis ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam Tesis ini. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik, koreksi dan saran dari pembaca yang bersifat membangun untuk pengembangan ke arah yang lebih baik. Akhir kata semoga Tesis ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS .....	v
ABSTRAK .....	vii
ABSTRACT .....	ix
KATA PENGANTAR .....	xi
DAFTAR ISI .....	xiii
DAFTAR GAMBAR .....	xv
DAFTAR TABEL .....	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan .....	3
1.4 Batasan Masalah .....	3
1.5 Kontribusi .....	3
BAB 2 KAPASITOR UNTUK MENGURANGI RUGI JARINGAN .....	5
2.1 Beban pada Jaringan Distribusi .....	5
2.2 Klasifikasi Beban .....	5
2.3 Klasifikasi Sistem Distribusi .....	7
2.4 Analisis Aliran Daya Sistem Distribusi .....	7
2.4.1 Aliran Daya pada Sistem Distribusi Radial .....	8
2.5 Rugi pada Sistem Distribusi .....	10
2.6 Kapasitor .....	11
2.7 Algoritma <i>Particle Swarm Optimization</i> .....	12
2.8 Algoritma <i>Accelerated Particle Swarm Optimization</i> .....	14
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN .....	17
3.1 Data Penelitian .....	20
3.2 Sistem Distribusi NR7 84 Bus .....	22
3.3 Sistem Proses Estimasi Kurva Beban Harian .....	24
3.3.1 Kurva Beban Harian Tiap Trafo Distribusi .....	24
3.3.2 Kurva Total Beban Harian .....	25
3.4 Estimasi Aliran Energi .....	25

3.5	Optimasi Lokasi dan Kapasitas Kapasitor.....	26
3.5.1	Optimasi Lokasi Menggunakan LSF.....	26
3.5.2	Lokasi Optimasi Kapasitas Kapasitor Menggunakan APSO .....	26
3.6	Fungsi Objektif.....	28
BAB 4 SIMULASI DAN ANALISIS .....		31
4.1	Hasil Estimasi Total Pembebanan Penyulang NR7 84 Bus Medan .....	31
4.2	Pembagian Interval untuk Analisa Aliran Energi.....	32
4.3	Hasil Simulasi Rugi Energi Penyulang NR7 84 Bus .....	33
4.4	Hasil Simulasi Sistem Distribusi Penyulang NR7 84 Bus Setelah Optimasi Kapasitor Menggunakan Algoritma <i>Accelerated</i> PSO .....	34
4.5	Hasil Simulasi Rugi Energi Penyulang NR7 84 Bus .....	36
BAB 5 PENUTUP .....		39
5.1	Kesimpulan.....	31
5.2	Saran.....	32
DAFTAR PUSTAKA.....		41
LAMPIRAN .....		43
BIOGRAFI PENULIS .....		45



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Karakteristik Beban Harian untuk Beban Residensial, Komersial dan Publik [11].....	6
Gambar 2.2 Kedudukan Sistem Distribusi Tenaga Listrik dari Keseluruhan Sistem Tenaga Listrik .....	7
Gambar 2.3 <i>Single Line Diagram</i> Contoh Jaringan Distribusi Radial 6 Bus.....	8
Gambar 2.4 Pengaruh Pemasangan Kapasitor pada Saluran Distribusi.....	11
Gambar 2.5 Segitiga Arus .....	12
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian .....	20
Gambar 3.2 Konfigurasi Sistem Distribusi NR7 84 Bus Medan .....	25
Gambar 4.1 Kurva Karakteristik Estimasi Pembebanan Penyulang .....	30

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Data kVA Trafo pada Penyulang NR7 84 Bus .....	18
Tabel 3.2 Data kVA Trafo pada Penyulang NR7 84 Bus (lanjutan).....	19
Tabel 3.3 Data Pengukuran Tiap Gardu Distribusi .....	20
Tabel 3.4 Data Pengukuran Tiap Gardu Ditribusi (lanjutan).....	21
Tabel 3.5 Data Kapasitas Kapasitor .....	28
Tabel 4.1 Hasil Estimasi Pembebanan Penyulang NR7 84 Bus .....	31
Tabel 4.2 Hasil Estimasi Pembebanan Penyulang NR7 84 Bus (lanjutan).....	32
Tabel 4.3 Hasil Pembagian Interval Pembebanan Penyulang NR7 84 Bus .....	33
Tabel 4.4 Hasil Simulasi Rugi-Rugi Energi Penyulang NR7 84 Bus .....	34
Tabel 4.5 Optimasi Lokasi dan Kapasitas Kapasitor Menggunakan Algoritma APSO dan Algoritma PSO .....	32
Tabel 4.6 Perbandingan Hasil Optimasi Kapasitor Saat Tanpa Kompensasi dan Saat Kompensasi dengan Algoritma Berbeda .....	33
Tabel 4.7 Optimal Lokasi dan Kapasitas ( <i>fixed</i> dan <i>switched</i> ) pada Penyulang NR7 84 Bus medan.....	34

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Sistem distribusi merupakan bagian yang sangat penting dalam sistem ketenagalistrikan karena penyaluran daya yang berhubungan langsung dengan beban (konsumen). Dalam sistem distribusi penting halnya dalam menjaga kualitas daya, dikarenakan agar stabilitas sistem tenaga listrik tetap terjaga. Penurunan kualitas daya dapat disebabkan oleh faktor daya yang menurun, drop tegangan, dan rugi jaringan [1]. Rugi jaringan merupakan salah satu masalah yang selalu dicari cara penyelesaiannya karena dapat mempengaruhi keandalan dan biaya operasi sistem. Rugi jaringan dapat diminimalkan dengan beberapa cara antara lain pemasangan kapasitor, penambahan *distributed generator* (DG), rekonfigurasi jaringan dan lain sebagainya.

Kapasitor merupakan komponen kompensator daya reaktif yang berfungsi untuk memperbaiki faktor daya. Dengan pemasangan kapasitor pada sistem distribusi, maka kapasitor mampu untuk mengurangi rugi jaringan dan drop tegangan pada sistem distribusi. Berbagai macam solusi untuk permasalahan pemasangan kapasitor dibagi menjadi 4 kategori: *analytical*, *numerical programming*, *heuristic* dan *artificial intelligence based* [2]. Neagle dan Samson mengenalkan penempatan kapasitor menggunakan metode *analytical* [3]. Pencetus pertama untuk menentukan kapasitas kapasitor sebagai variabel diskrit menggunakan teknik *dynamic programming* telah dilaporkan oleh Duran [4]. Sebuah metode *heuristic* telah diajukan oleh Ramalinga Raju menggunakan metode *direct search* yang mana mencari bus terbaik untuk kapasitas kapasitor dari segala kemungkinan dan kemudian menempatkannya. Kemudian pada era 1990an *artificial intelligence* (AI) mulai dikenal hingga sekarang menggunakan kombinasi AI lebih dari satu metode .

Metode yang akhi-akhir ini banyak digunakan salah satunya yaitu *particle swarm optimization* (PSO) terbukti lebih mampu dan telah diaplikasikan untuk beberapa permasalahan optimisasi seperti *economic dispatch* dan kontrol tegangan

dan daya reaktif [5]. Prakash dan Sydulu mengaplikasikan PSO untuk permasalahan penempatan kapasitor namun untuk fungsi objektif pada formulasi mereka masih belum jelas [6]. *Genetic Algorithm* (GA) telah dikenalkan oleh Levitin dalam meminimalkan *losses* pada sebuah feeder untuk memecahkan masalah penempatan kapasitor [7].

Setelah mengalami banyak perkembangan diusulkan algoritma *Genetic Algorithm* (GA) dalam menyelesaikan permasalahan optimasi kapasitor yang mempertimbangkan ketidakpastian dalam variasi beban. Disini diperkenalkan tidak hanya menggunakan kapasitor yang *fixed* saja, namun kapasitor *switchable* juga dipertimbangkan dalam permasalahan variasi beban [8]. Pada penelitian ini, optimasi lokasi dan kapasitas kapasitor menggunakan algoritma *Accelerated Particle Swarm Optimization* (APSO) dengan mempertimbangkan perubahan beban yang mengacu pada referensi [9]. Untuk memudahkan perhitungan perubahan beban dilakukan pembagian menjadi beberapa interval waktu dalam satu hari. Karena tidak memungkinkan dalam hal ini untuk penentuan lokasi dan kapasitas kapasitor dilakukan dalam interval waktu setiap jam dalam satu hari. Tujuan optimasi kapasitor disini ialah untuk meminimalkan rugi-rugi energi pada jaringan distribusi yang paling optimal tiap interval waktu.

## 1.2 Rumusan Masalah

Pada penelitian ini permasalahan yang akan dibahas yaitu :

1. Bagaimana cara mengestimasi pembebanan pada setiap titik beban untuk setiap interval waktu yaitu setiap satu jam.
2. Bagaimana meminimalkan rugi-rugi energi dengan optimasi lokasi dan kapasitas kapasitor pada sistem distribusi radial.
3. Bagaimana melakukan proses optimasi lokasi dan kapasitas kapasitor dengan mempertimbangkan perubahan beban terhadap waktu menggunakan algoritma *accelerated particle swarm optimization*.

### 1.3 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini yaitu :

1. Menentukan estimasi pembebanan setiap titik beban yang dilakukan setiap interval waktu. Interval dalam penelitian terdiri dari tiga interval.
2. Menentukan lokasi serta kapasitas kapasitor yang optimal menggunakan *accelerated particle swarm optimization*.
3. Meminimalkan rugi-rugi energi melalui proses optimasi kapasitor.

### 1.4 Batasan Masalah

Agar penelitian ini tidak menyimpang dari ketentuan, maka perlu diberi batasan dan asumsi sebagai berikut :

1. Penelitian ini menggunakan sistem distribusi yang nyata di Medan dengan tegangan sistem 20 kV.
2. Koordinasi proteksi sistem diabaikan.
3. Harmonisa pada sistem diabaikan.
4. Rugi jaringan yang dioptimalkan adalah rugi daya aktif.
5. Penentuan lokasi menggunakan *loss sensitivity factor* yang kemudian lokasi tersebut fix untuk semua kondisi beban.

### 1.5 Kontribusi

Penelitian tentang estimasi pembebanan pada trafo telah dilakukan oleh Heneka Yoma Priyanga [10]. Kemudian identifikasi karakteristik jenis beban pada jaringan distribusi radial untuk estimasi pembebanan trafo distribusi telah dilakukan dengan menggunakan teknik estimasi yang berbeda oleh M.Zaini Rohmawan [11]. Lalu, telah dilakukan estimasi pembebanan trafo distribusi dengan teknik yang sama namun mengurangi rugi-rugi jaringan yang ada dengan teknik rekonfigurasi jaringan oleh Yoakim Simamora [12].

Pengembangan penelitian ini adalah mengurangi rugi-rugi energi dengan melakukan optimasi lokasi dan kapasitas kapasitor yang memperhitungkan kondisi beban yang berubah terhadap waktu. Pengoptimalan yang dilakukan adalah penentuan lokasi dengan menggunakan metode *Loss Sensitivity Factor* dan untuk penentuan kapasitas kapasitor menggunakan algoritma *Accelerated Particle Swarm*

*Optimization* (APSO). Diharapkan penelitian ini memberi kontribusi untuk menyelesaikan permasalahan rugi jaringan yang terdapat pada sistem distribusi radial. Sehingga didapatkan kualitas daya yang baik dan tetap terjaga. Dan memberikan hasil yang lebih baik daripada menggunakan algoritma PSO juga memiliki konvergensi yang lebih *smooth* dan lebih stabil.



## **BAB 2**

### **KAPASITOR UNTUK MENGURANGI RUGI JARINGAN**

#### **2.1 Beban pada Jaringan Distribusi**

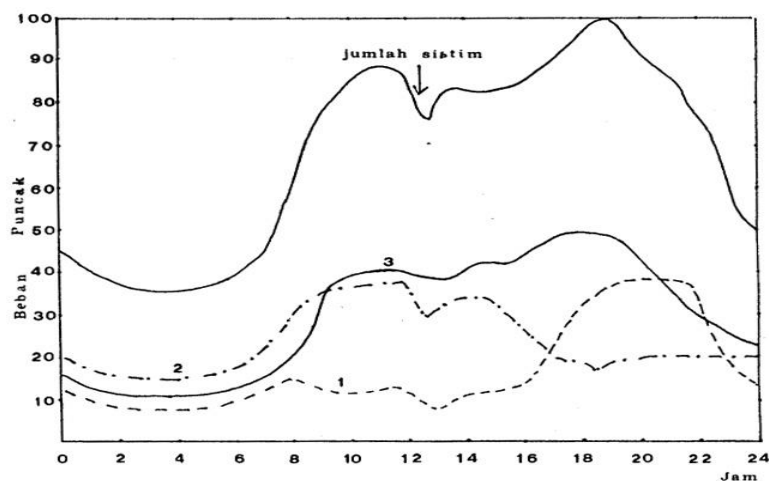
Jaringan distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang menyalurkan energi listrik langsung ke konsumen. Sistem distribusi merupakan bagian dari sistem rangkaian listrik yang sangat besar yang mempunyai beban yang sangat banyak jumlah dan jenisnya serta kompleksitasnya. Jika ditinjau dengan analisis rangkaian listrik, dalam rangkaian listrik mengandung komponen resistansi, induktansi dan kapasitansi, baik pada bebannya maupun salurannya. Dalam sistem tenaga listrik segala peralatan yang sifatnya mengkonsumsi energi listrik umumnya dinamakan sebagai beban.

#### **2.2 Klasifikasi Beban**

Penggunaan tenaga listrik dengan tujuan dan maksud yang berbeda-beda dapat menimbulkan berbagai macam kelompok beban yang mempunyai karakter yang berbeda. Untuk mengetahui karakter tiap beban maka perlu adanya pengelompokan jenis beban berdasarkan kategori tertentu.

Secara umum beban juga dapat dikategorikan menurut maksud pemakaiannya. Kategori ini juga dipakai oleh PT. PLN Distribusi untuk mengelompokkan jenis beban, yang umumnya dinamakan kategori berdasarkan kelompok tarif, antara lain beban residensial, komersial, publik, dan industri.

Bila dilakukan pengukuran tiap jam dalam selang waktu tertentu (biasanya 24 jam) pada masing-masing jenis beban maka akan didapatkan data pengukuran yang selanjutnya bila diplot akan didapatkan sebuah bentuk kurva yang khas pada masing-masing jenis beban tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.1. Bentuk kurva atau yang biasa disebut lengkung/kurva beban (*load curve*) menunjukkan variasi pembebanan setiap saat. Bentuk kurva beban tergantung dari jenis beban dan sifat beban tersebut.



Gambar 2.1 Karakteristik Beban Harian untuk Beban Residensial, Komersial dan Industri [11]

Dari gambar di atas beban perumahan mencapai maksimum sekitar jam 18.00 sampai jam 22.00 (grafik 1). Beban industri (grafik 2) mencapai maksimum pada siang dan malam, sedangkan untuk industri yang beroperasi siang dan malam akan mempunyai bentuk kurva beban yang cukup seimbang antara siang dan malam. Beban komersial (grafik 3) mencapai maksimum pada jam 17.00 – 19.00. Selama sehari semalam ternyata sistem tersebut mencapai maksimum di dua tempat, yaitu siang hari dan malam hari. Beban puncak pada siang hari terjadi pada jam 10.00-12.00 dan beban puncak pada malam hari terjadi pada jam 18.30-20.00 [11].

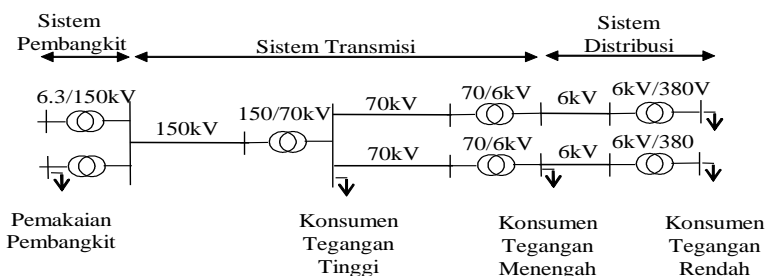
Secara total keseluruhan beban puncak pada malam hari lebih besar dari pada beban puncak pada siang hari. Beban puncak malam hari sebagian besar dipakai oleh beban perumahan dan komersial. Hal ini mungkin disebabkan karena pola pemakaian tenaga listrik untuk keperluan konsumtif yang terjadi pada malam hari, seperti penerangan jalan, penerangan rumah, dan lain sebagainya. Sedangkan untuk beban puncak pada siang hari diperkirakan digunakan oleh kelompok beban industri serta sebagian kelompok beban komersial dan sedikit kelompok beban perumahan. Pada umumnya kegiatan industri lebih besar pada siang hari walaupun ada beberapa jenis industri bekerja pada siang maupun malam hari. Meskipun

demikian beban puncak siang hari untuk kelompok beban industri diperkirakan masih lebih besar dari pada beban puncak malam hari [11].

### 2.3 Klasifikasi Sistem Distribusi

Klasifikasi sistem distribusi tenaga listrik dari keseluruhan sistem tenaga listrik secara umum dapat dilihat pada Gambar 2.2. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa kedudukan sistem distribusi merupakan bagian paling akhir dari keseluruhan sistem tenaga listrik yang mempunyai fungsi mendistribusikan langsung tenaga listrik pada beban atau konsumen yang membutuhkan.

Pada sistem distribusi terdapat dua bagian, yaitu distribusi primer, yang menggunakan tegangan menengah; dan distribusi sekunder, yang menggunakan tegangan rendah. Dalam sistem distribusi baik primer maupun sekunder, dikenal beberapa jenis struktur/tipe jaringan distribusi. Pada sistem jaringan distribusi primer mempunyai beberapa tipe jaringan, antara lain sistem *radial*, sistem *loop*, sistem *spindle*, sistem *mesh (margarithe)*.



Gambar 2.2 Kedudukan Sistem Distribusi Tenaga Listrik dari Keseluruhan Sistem Tenaga Listrik.

### 2.4 Analisis Aliran Daya Sistem Distribusi

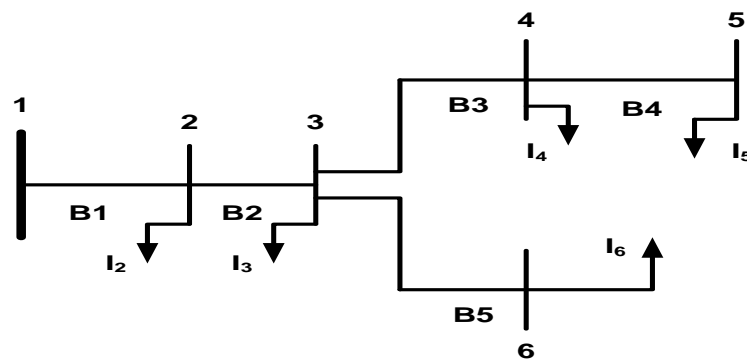
Analisis aliran daya pada sebuah sistem tenaga listrik berguna untuk menghitung beberapa parameter penting antara lain arus, tegangan, daya dan kerugian daya. Beberapa metode analisis aliran daya seperti *Gauss-Seidel*, *Newton-Raphson* dan *Fast Decoupled* telah terbukti akurat untuk perhitungan analisis aliran daya pada sistem transmisi. Penggunaan metode-metode tersebut pada sistem distribusi dapat memberikan hasil yang kurang akurat karena algoritma yang

digunakan berbasis pada topologi sistem transmisi yang berbentuk *mesh* dan *loop* tertutup sedangkan sistem distribusi umumnya berbentuk radial. Saluran atau kabel pada sistem distribusi juga memiliki rasio resistansi versus reaktansi ( $R/X$ ) yang cenderung tinggi sehingga menyebabkan proses perhitungan aliran daya menggunakan perhitungan konvensional diatas gagal konvergen [13].

Sebuah metode yang mampu menemukan solusi aliran daya dengan memanfaatkan topologi jaringan distribusi akan digunakan pada penelitian ini [13]. Metode tersebut menghindari penggunaan matriks jacobian atau matrik admitansi  $Y$  yang harus digunakan pada metode konvensional sehingga lebih hemat waktu perhitungan.

#### 2.4.1 Aliran Daya pada Sistem Distribusi Radial

Salah satu metode untuk menghitung aliran daya pada sistem distribusi radial adalah metode Bus Injection to Branch Current – Branch Current to Bus Voltage (BIBC – BCBV) [14].



Gambar 2.3. Single Line Diagram Contoh Jaringan Distribusi Radial 6 Bus

Pada Gambar 2.3 merupakan contoh sederhana dari jaringan distribusi radial 6 bus sederhana. Dari gambar tersebut didapatkan persamaan injeksi arus pada persamaan 2.1 sampai dengan persamaan 2.5.

$$B_5 = I_6 \quad (2.1)$$

$$B_4 = I_5 \quad (2.2)$$

$$B_3 = I_4 + I_5 \quad (2.3)$$

$$B_2 = I_3 + I_4 + I_5 + I_6 \quad (2.4)$$

$$B_1 = I_2 + I_3 + I_4 + I_5 + I_6 \quad (2.5)$$

Persamaan injeksi arus ke bus dapat dituliskan dengan matrik injeksi arus seperti persamaan 2.6.

$$\begin{bmatrix} B1 \\ B2 \\ B3 \\ B4 \\ B5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I2 \\ I3 \\ I4 \\ I5 \\ I6 \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

Persamaan matrik injeksi arus dapat dirumuskan menjadi model persamaan 2.7 dengan komponen matrik BIBC (*Bus Injection to Branch Current*).

$$[B] = [BIBC] [I] \quad (2.7)$$

Kemudian dibentuk persamaan untuk mencari nilai tegangan jatuh berdasarkan jalur injeksi arus. Persamaan 2.8 sampai dengan persamaan 2.12 merupakan persamaan untuk menghitung tegangan tiap bus.

$$V_2 = V_1 - B_1 \cdot Z_{12} \quad (2.8)$$

$$V_3 = V_1 - B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} \quad (2.9)$$

$$V_4 = V_1 - B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} - B_3 \cdot Z_{34} \quad (2.10)$$

$$V_5 = V_1 - B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} - B_3 \cdot Z_{34} - B_4 \cdot Z_{45} \quad (2.11)$$

$$V_6 = V_1 - B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} - B_3 \cdot Z_{34} - B_4 \cdot Z_{45} - B_5 \cdot Z_{36} \quad (2.12)$$

Maka tegangan jatuh dapat dihitung menjadi persamaan 2.13 sampai dengan 2.17.

$$V_1 - V_2 = B_1 \cdot Z_{12} \quad (2.13)$$

$$V_1 - V_3 = B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} \quad (2.14)$$

$$V_1 - V_4 = B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} - B_3 \cdot Z_{34} \quad (2.15)$$

$$V_1 - V_5 = B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} - B_3 \cdot Z_{34} - B_4 \cdot Z_{45} \quad (2.16)$$

$$V_1 - V_6 = B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} - B_3 \cdot Z_{34} - B_4 \cdot Z_{45} - B_5 \cdot Z_{36} \quad (2.17)$$

Persamaan 2.13 sampai dengan persamaan 2.17 dapat dibentuk dan diselesaikan menggunakan suatu bentuk matrik dengan komponen matrik BCBV (*Branch Current to Branch Voltage*).

$$\begin{bmatrix} V1 - V2 \\ V1 - V3 \\ V1 - V4 \\ V1 - V5 \\ V1 - V6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z12 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ Z12 & Z23 & 0 & 0 & 0 \\ Z12 & Z23 & Z34 & 0 & 0 \\ Z12 & Z23 & Z34 & Z45 & 0 \\ Z12 & Z23 & 0 & 0 & Z36 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B1 \\ B2 \\ B3 \\ B4 \\ B5 \end{bmatrix} \quad (2.18)$$

Pola umum persamaan 2.18 dapat ditulis seperti persamaan 2.19.

$$[\Delta V] = [BCBV][B] \quad (2.19)$$

Sehingga nilai  $\Delta V$  didapatkan persamaan 2.20 dan persamaan 2.21.

$$[\Delta V] = [BCBV][BIBC][I] \quad (2.20)$$

$$[\Delta V] = [DLF][I] \quad (2.21)$$

Penyelesaian aliran daya dapat diperoleh dengan prosedur perhitungan secara itersai pada persamaan 2.19 sampai dengan persamaan 2.21.

$$I_i^{(k)} = \left( \frac{P_i + jQ_i^*}{V_i^{(k)}} \right)^* \quad (2.22)$$

$$[\Delta V^k] = [DLF][I^k] \quad (2.23)$$

Persamaan 2.24 adalah persamaan *update* tegangan baru

$$[V^{k+1}] = [V_1] - [\Delta V^k] \quad (2.24)$$

## 2.5 Rugi pada Sistem Distribusi

Rugi daya listrik pada sistem distribusi dipengaruhi beberapa faktor yang antara lain faktor konfigurasi dari sistem jaringan distribusi, transformator, kapasitor, isolasi dan rugi daya listrik dikategorikan menjadi dua bagian yaitu rugi daya aktif dan rugi daya reaktif seperti pada persamaan 2.25 [15].

$$S = P + jQ \text{ (VA)} \quad (2.25)$$

Dimana :

$P$  = Rugi daya aktif ( Watt)

$Q$  = Rugi daya reaktif (VAR)

$S$  = Daya Kompleks (VA)

Dari persamaan 2.25, maka daya aktif dan daya reaktif pada suatu bus  $i$  mempunyai persamaan sebagai berikut :

$$P_i - jQ_i = V_i * I_i \quad (2.26)$$

Dan arus pada bus  $I$  adalah :

$$I_i = \frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} \quad (2.27)$$

$I_i$  akan bertanda positif bila arus menuju ke bus  $i$  dan akan bertanda negatif bila arus mengalir keluar dari bus  $i$ .

Rugi daya listrik tersebut di atas (VA) akan mempengaruhi tegangan kerja sistem dan besarnya rugi daya dinyatakan dengan :

$$P_{\text{loss}} = \sum_{i=1}^{nbr} |I_i|^2 \cdot r_i \quad (2.28)$$

$$Q_{\text{loss}} = \sum_{i=1}^{nbr} |I_i|^2 \cdot x_i \quad (2.29)$$

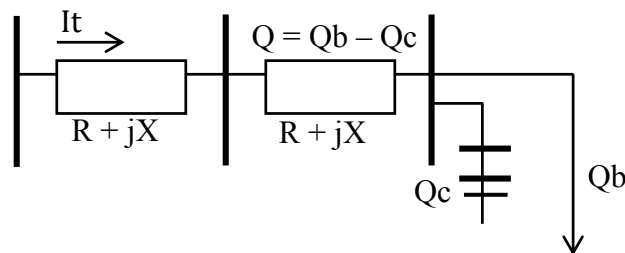
## 2.6 Kapasitor

Kapasitor merupakan komponen kompensator yang memiliki banyak fungsi. Fungsi kapasitor adalah untuk memperbaiki faktor daya, mengurangi kerugian daya (*losses*) dan pengatur tegangan. Kapasitor bekerja dengan cara mengkompensasi daya reaktif pada sistem [16].

Pemasangan kapasitor berdasarkan pada bus yang ada pada sistem. Penentuan kapasitas kapasitor dipengaruhi oleh nilai faktor daya dan daya beban pada sistem. Daya reaktif kapasitor diperoleh dari hasil selisih faktor daya lama dan faktor daya baru dikalikan dengan daya aktif. Daya reaktif kapasitor dapat ditulis dalam persamaan 2.30.

$$Q_c = P \times (\tan \varphi_{\text{lama}} - \tan \varphi_{\text{baru}}) \quad (2.30)$$

Pemasangan kapasitor pada saluran distribusi menyebabkan nilai daya reaktif saluran menjadi turun. Pengaruh pemasangan kapasitor terlihat seperti pada Gambar 2.4.

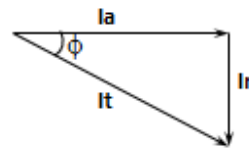


Gambar 2.4 Pengaruh pemasangan kapasitor pada saluran distribusi

Gambar 2.4 menunjukkan pengaruh pemasangan kapasitor terhadap rugi jaringan daya aktif. Daya saluran yang semula sama dengan daya reaktif beban dikurangi dengan daya reaktif kapasitor sehingga daya reaktif saluran berkurang. Daya reaktif saluran menyebabkan arus reaktif ( $I_r$ ) menjadi berkurang seperti pada persamaan 2.31.

$$Q = V \times I_r \times \sin\phi \quad (2.31)$$

Gambar 2.5 merupakan segitiga arus. Gambar 2.5 juga menunjukkan pengaruh arus reaktif ( $I_r$ ) terhadap arus total ( $I_t$ ).



Gambar 2.5 Segitiga arus

Arus total ( $I_t$ ) didapatkan dari penjumlahan dari arus reaktif ( $I_r$ ) dan arus aktif ( $I_a$ ). Persamaan untuk mencari arus total seperti pada persamaan 2.32.

$$I_t = \sqrt{I_a^2 + I_r^2} \quad (2.32)$$

Arus yang mengalir pada saluran adalah arus total ( $I_t$ ). Rugi jaringan daya aktif didapatkan dari persamaan (2.33).

$$P_{loss} = I_t^2 \times R \quad (2.33)$$

Pemasangan kapasitor pada saluran distribusi menyebabkan daya reaktif saluran berkurang. Daya reaktif berkurang menyebabkan arus reaktif pada saluran berkurang. Arus reaktif berkurang menyebabkan arus total yang mengalir pada saluran berkurang. Sehingga rugi jaringan akan berkurang karena arus total berkurang.

## 2.7 Algoritma *Particle Swarm Optimization*

Algoritma *Particle Swarn Optimzation* (PSO) diperkenalkan oleh Kennedy dan Eberhart pada tahun 1995, proses algoritmanya terinspirasi oleh tingkah laku sosial pada kawanan burung yang terbang bersama-sama. Perilaku sosial ini terdiri dari tindakan individu dan pengaruh dari individu – individu lain dalam suatu kelompok. Setiap individu atau partikel berperilaku secara terdistribusi



dengan menggunakan kecerdasannya (*intelligency*) sendiri dan juga diperanguhi kelompok kolektifnya.

Dengan demikian, jika suatu partikel atau seekor burung menemukan jalan yang tepat (optimal) menuju sumber makanan, maka sisa anggota kelompok yang lainnya juga akan mengikuti jalan tersebut meskipun lokasi mereka didalam kelompok tersebut tidak saling berdekatan.

Beberapa istilah umum yang digunakan dalam PSO dapat didefinisikan sebagai berikut [17]:

- a. *Swarm* : populasi dari suatu algoritma
- b. *Particle* : anggota (individu) pada suatu *swarm*. Setiap *particle* mempresentasikan suatu solusi yang potensial pada permasalahan yang diselesaikan. Posisi dari suatu *particle* adalah ditentukan oleh representasikan solusi saat itu.
- c. *Pbest (Personal Best)* : posisi *Pbest* suatu *particle* yang menunjukkan posisi *particle* yang dipersiapkan untuk mendapatkan suatu solusi yang terbaik.
- d. *Gbest (Global Best)* : posisi terbaik *particle* pada *swarm* atau posisi terbaik antara *Pbest* yang ada.
- e. *Velocity* (kecepatan) : kecepatan atau vektor yang menggerakkan proses optimisasi yang menentukan arah dimana suatu *particle* diperlukan untuk berpindah (move) untuk memperbaiki posisinya semula.
- f. *Inertia Weight ()* : parameter yang digunakan untuk mengontrol dampak dari adanya *velocity* yang diberikan oleh suatu *particle*.

Algoritma PSO yang standar dapat dituliskan seperti pada persamaan 2.33 dan persamaan 2.34.

$$v_i(t+1) = w \cdot v_i + c_1 \cdot \text{rand}(p_i - x_i(t)) + c_2 \cdot \text{rand}(p_g - x_i(t)) \quad (2.33)$$

$$x_i(t+1) = x_i(t) + v_i(t+1) \quad (2.34)$$

Dimana :

$x_i(t)$  dan  $v_i(t)$  = posisi dan kecepatan partikel saat ini

$x_i(t+1)$  dan  $v_i(t+1)$  = posisi dan kecepatan partikel iterasi selanjutnya

$c_1$  dan  $c_2$  = konstanta *cognitive* dan *sosial acceleration*

*rand* = nilai random yang terdistribusi antara 0 dan 1

$p_i$  = posisi terbaik dari partikel itu sendiri  
 $p_g$  = posisi terbaik dari seluruh populasi yang ada

Variasi PSO merupakan pengembangan dari metode yang telah dikembangkan oleh Kennedy dan Ebenhart [17]. Dengan ditambahkannya *inertia weight* sebagai pengontrol keragaman dari *original* PSO, maka persamaan update partikel menjadi persamaan 2.35.

$$v_i(t+1) = w \cdot v_i + c_1 \cdot \text{rand}(p_i - x_i(t)) + c_2 \cdot \text{rand}(p_g - x_i(t)) \quad (2.35)$$

Dengan  $w$  adalah *inertia weight* yang memiliki nilai yang bervariasi setiap iterasinya. Persamaan *inertia weight* yang digunakan adalah seperti pada persamaan 2.36 berikut.

$$w_{it} = w_{max} - \frac{(w_{max} - w_{min}) \cdot it}{it_{max}} \quad (2.36)$$

Dimana :

$w_{max}$  = koefisien *inertia weight* maksimal  
 $w_{min}$  = koefisien *inertia weight* minimal  
 $it$  = iterasi yang selalu berubah dari 1,2, ...  $it_{max}$   
 $it_{max}$  = nilai maksimal dari iterasi yang digunakan

## 2.8 Algoritma Accelerated Particle Swarm Optimization

Pada dasarnya standard PSO hanya menggunakan  $P_{best}$  dan  $G_{best}$ . Tujuan dari  $P_{best}$  adalah untuk meningkatkan perbedaan dari kualitas permasalahan. Bagaimanapun perbedaan ini dapat disimulasikan dengan beberapa sifat random. Pada sebuah PSO yang sederhana,  $G_{best}$  dapat mengakselerasi dalam mencapai konvergensi yang lebih cepat untuk sebuah algoritma optimasi. Maka dari itu untuk *update* kecepatan untuk iterasi  $(t + 1)$  dapat dihasilkan dari persamaan (2.37) [9].

$$v_i(t+1) = v_i + \alpha \cdot \text{rand}(t) + \beta \cdot \text{rand}(p_g - x_i(t)) \quad (2.37)$$

Dimana  $\alpha$ ,  $\beta$  adalah koefisien akselerasi. Kemudian untuk *update* posisi pada iterasi  $(t + 1)$  yang sederhana yakni sebagai berikut :

$$x_i(t+1) = (1 - \beta) \cdot x_i(t) + \beta \cdot p_g + \alpha \cdot \text{rand}(t) \quad (2.38)$$

Nilai untuk koefisien  $\alpha$  adalah dari range 0.1 sampai 0.5 dan nilai untuk koefisien  $\beta$  adalah dari range 0.1 sampai 0.7. Dan untuk permasalahan ini dapat menggunakan  $\alpha = 0.5$  dan  $\beta = 0.7$ .

Prosedur standar untuk menerapkan algoritma APSO adalah sebagai berikut :

1. Inisialisasi *velocity*, posisi, dan parameter APSO.
2. *Update velocity* partikel dengan menggunakan persamaan 2.37.
3. *Update* posisi partikel dengan menggunakan persamaan 2.38.
4. Evaluasi fungsi *fitness* dengan *update*  $P_i$  dan *update*  $P_g$ .
5. Bandingkan tiap calon  $P_g$  dari nilai fungsi *fitness* agar mendapatkan nilai  $P_g$  yang terbaik.
6. Apabila nilai  $P_g$  belum mendapatkan nilai terbaik maka kembali ke langkah ke-2.

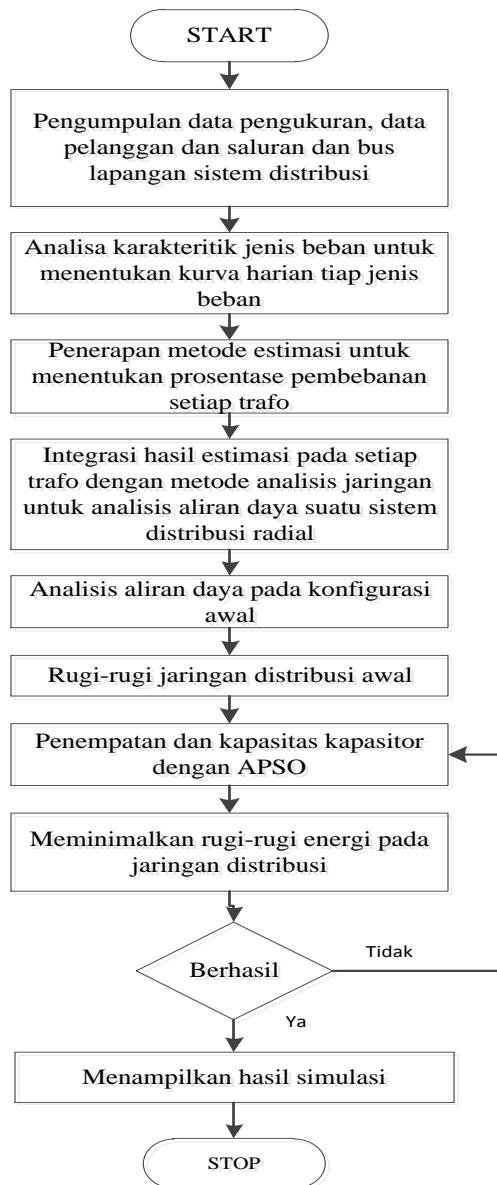
Lakukan sampai batas iterasi atau sampai mendapatkan  $P_g$  dengan fungsi *fitness* yang paling minimal atau yang terbaik.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB 3

### METODOLOGI PENELITIAN

Langkah – langkah penelitian ini dibuat dalam diagram alir seperti Gambar 3.1. Gambar 3.1 menunjukkan langkah – langkah penelitian yang jelas dan terperinci.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

Dapat dilihat pada diagram alir pada Gambar 3.1, pertama kita harus mengumpulkan data untuk dapat menentukan kurva beban tiap jenis beban. Data

yang diperlukan adalah data pengukuran, database harian tiap jenis beban juga data prosentase pelanggan tiap jenis beban pada setiap trafo distribusi.

Data pengukuran yang diperlukan adalah meliputi besar daya yang diukur, rating trafo serta waktu pengukuran Adapun database disini merupakan sebagai referensi dalam menentukan besarnya pembebanan pada saat waktu yang lain. Database yang dibutuhkan adalah database pembebanan serta database faktor daya. Untuk data pelanggan meliputi tentang prosentase tiap jenis beban yang disuplai trafo distribusi tersebut. Setelah didapatkan estimasi pembebanan selama 24 jam setiap trafo-tafo, kemudian di total maka akan didapatkan estimasi pembebanan selama 24 jam secara total pada suatu penyulang.

### 3.1 Data Penelitian

Data yang digunakan dalam tesis ini adalah data salah satu penyulang yang ada di Medan, yaitu data penyulang NR7 84 bus [12]. Penyulang ini memiliki komposisi jenis beban yaitu beban residensial, beban komersial dan beban publik. Akan tetapi pada penyulang ini memiliki komposisi yang mayoritas adalah beban residensial. Sehingga menciptakan kurva karakteristik yang khas.

Data kVA trafo yang ada di penyulang NR7 84 bus dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut.

Tabel 3.1 Data kVA Trafo pada Penyulang NR7 84 Bus

No	Kode Trafo	Rating (kVA)	Remark
1	PB368	200	Residensial
2	PB258	160	Residensial
3	PB421	100	Residensial
4	PB135	160	Residensial
5	PB149	100	Residensial

Tabel 3.2 Data KVA Trafo pada Penyulang NR7 (lanjutan)

No	Kode Trafo	Rating (kVA)	Remark
6	PB137	200	Residensial
7	PB532	100	Residensial
8	PB394	50	Residensial
9	PB333	160	Residensial
10	PB139	160	Residensial
11	PB831	25	Residensial
12	PB494	100	Residensial
13	PB140	160	Residensial
14	PB284	160	Residensial
15	PB498	100	Residensial
16	PB142	315	Residensial
17	PB497	100	Residensial
18	PB144	400	Residensial
19	PB437	160	Residensial
20	PB207	250	Residensial
21	PB459	100	Residensial
22	PB206	160	Residensial
23	PB460	100	Residensial
24	PB259	100	Residensial
25	PB843	25	Public
26	PB205	160	Residensial
27	PB844	25	Commercial
28	PB845	25	Residensial
29	PB500	100	Residensial
30	PB507	200	Residensial
31	PB260	160	Residensial
32	PB535	100	Residensial
33	PB836	25	Commercial
34	PB332	200	Residensial
35	PB838	200	Public
36	PB138	160	Residensial
37	PB185	100	Residensial
38	PB285	100	Residensial
39	PB839	100	Residensial

Data yang ditunjukkan berikut adalah data yang dapat digunakan untuk melakukan proses identifikasi jenis beban meliputi data rating trafo, data prosentase pembebanan dan waktu pengukuran yang ditunjukkan pada Tabel 3.2.

Tabel 3.3 Data Pengukuran tiap Gardu Distribusi

No	Kode Trafo	Rating (kVA)	Pembebanan (kVA)	Pembebanan (%)	Jam Pengukuran
1	PB368	200	108	54	19
2	PB258	160	63,8	43	18
3	PB421	100	9	9	18
4	PB135	160	171,2	107	21
5	PB149	100	113	113	21
6	PB137	200	146	73	20
7	PB532	100	51	51	18
8	PB394	50	38,5	77	20
9	PB333	160	129,6	81	21
10	PB139	160	121,6	76	20
11	PB831	25	5	20	11
12	PB494	100	79	79	20
13	PB140	160	84,8	53	19
14	PB284	160	108,8	68	19
15	PB498	100	81	81	21
16	PB142	315	141,75	45	18
17	PB497	100	76	76	20
18	PB144	400	184	46	18
19	PB437	160	120	75	20
20	PB207	250	177,5	71	20
21	PB459	100	65	65	19
22	PB206	160	160	100	21
23	PB460	100	59	59	18
24	PB259	100	81	81	21
26	PB843	25	0,5	2	9
27	PB205	160	80	50	18
28	PB844	25	5,25	21	18
29	PB500	100	66	66	19
30	PB507	200	100	50	18
31	PB260	160	128	80	22
32	PB535	100	71	71	20



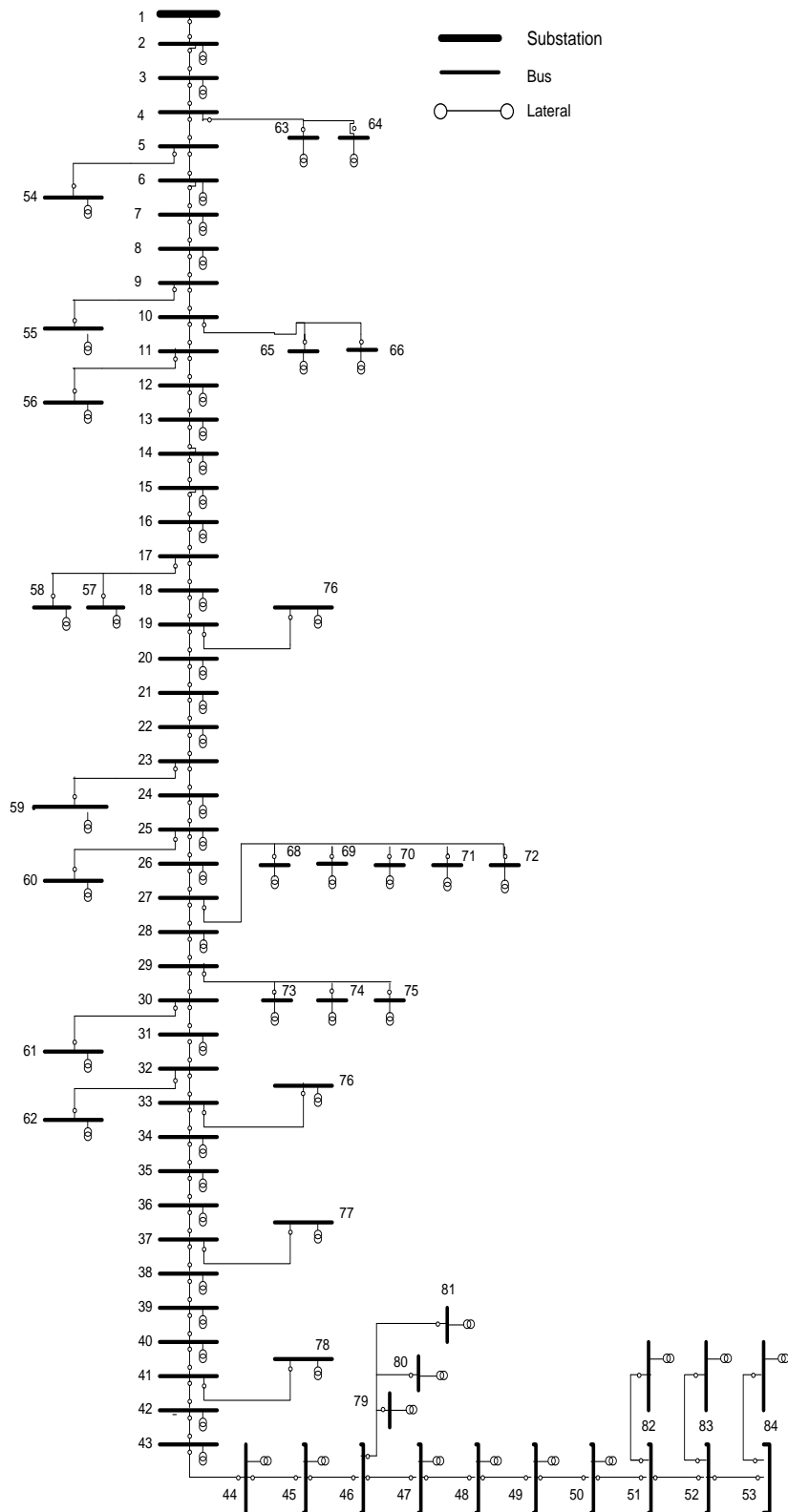
Tabel 3.4 Data Pengukuran Tiap Gardu Distribusi (lanjutan)

No	Kode Trafo	Rating (kVA)	Pembebanan (kVA)	Pembebanan (%)	Jam Pengukuran
33	PB836	25	4,5	18	18
34	PB332	200	206	103	22
35	PB838	200	42	21	18
36	PB138	160	96	60	19
37	PB185	100	63	63	19
38	PB285	100	26	26	18
39	PB839	100	69	69	19
40	PB339	100	33	33	11
41	PB499	100	39	39	18
42	PB493	100	94	94	21
43	PB447	200	38	19	18
44	PB837	50	16,5	33	18
45	PB136	160	104	65	19
46	PB250	100	22	22	18
47	PB495	100	68	68	19
48	PB840	25	4,25	17	18
49	PB841	25	7,5	30	18
50	PB141	315	59,85	19	18
51	PB496	160	78,4	49	18
52	PB143	100	82	82	21
53	PB412	100	6	6	18
54	PB518	100	14	14	18
55	PB533	160	91,2	57	18
56	PB335	160	96	60	19
57	PB349	250	42,5	17	19
58	PB433	100	44	44	19
59	PB204	160	110,4	69	19
60	PB203	160	116,8	73	20
61	PB187	100	88	88	21
62	PB847	250	57,5	23	18
63	PB846	100	49	49	19

Dari Tabel 3.2 dan Tabel 3.3 tersebut dapat kita dapat melakukan proses perhitungan untuk identifikasi karakteristik pembebanan masing-masing trafo. Untuk melakukan estimasi pembebanan masing-masing trafo selama 24 jam maka perhitungannya dapat dilihat pada bab sebelumnya pada persamaan 2.39 hingga persamaan 2.40. Dari hasil estimasi pembebanan masing-masing trafo 24 jam, kemudian dijumlahkan beban masing-masing trafo pada tiap jam, sehingga didapatkan karakteristik pembebanan harian total pada penyulang tersebut. Dari hasil estimasi inilah dapat dilakukan analisa aliran daya untuk mengetahui seberapa besar rugi energi pada jaringan distribusi tersebut. Kemudian untuk mengurangi kerugian energi dilakukan optimasi kapasitor menggunakan algoritma *Accelerated Particle Swarm Optimization* (APSO).

### **3.2 Sistem Distribusi NR7 84 Bus**

Penelitian ini menggunakan data sistem distribusi 20kV 84 bus yang memiliki 84 bus dan 83 saluran. Gambar 3.2 menunjukkan konfigurasi sistem distribusi 84 bus.



Gambar 3.2 Konfigurasi Sistem Distribusi NR7 84 Bus Medan

### 3.3 Proses Estimasi Kurva Beban Harian

Pada penelitian ini proses estimasi kurva beban harian dilakukan dengan 2 langkah, yaitu terlebih dahulu menentukan kurva beban harian tiap trafo distribusi. Langkah berikutnya adalah menentukan kurva total beban harian.

#### 3.3.1 Kurva Beban Harian Tiap Trafo Distribusi

Untuk melakukan proses estimasi pembentukan kurva beban harian secara total suatu penyulang diawali dengan menentukan terlebih dahulu kurva beban harian tiap trafo distribusi. Kurva beban pada tiap trafo ini dapat dibentuk berdasarkan data pengukuran, data prosentase pelanggan serta database beban harian tiap jenis beban.

Data pengukuran tiap trafo antara lain terdiri atas besarnya daya yang diukur dengan dilengkapi data tentang rating trafo dan waktu dilakukannya pengukuran. Besar daya yang diukur akan menentukan prosentase pembebanan trafo tersebut saat pengukuran. Data pelanggan berisi tentang prosentase tiap jenis beban yang disuplai oleh trafo tersebut. Sedangkan database pembebanan dan database faktor daya digunakan sebagai referensi untuk menentukan besarnya pembebanan pada waktu-waktu yang lain. Estimasi pembebanan jenis beban residensial dinyatakan pada persamaan 2.39 [11].

$$Pn_{res} = \left( \frac{Pn_{ref\_res}}{P_{ref\_res}} \right) \cdot (kVA_{rating} \cdot lf \cdot lc_{res} \cdot pfn_{ref\_res}) \quad (2.39)$$

Keterangan:

- $Pn_{ref\_res}$  = Daya referensi beban residensial jam 1–24
- $P_{ref\_res}$  = Daya referensi beban residensial ketika pengukuran
- $pfn_{ref\_res}$  = Faktor daya referensi beban residensial jam 1–24 (%)
- $kVA_{rating}$  = Rating transformer
- $lf$  = Prosentase pembebanan trafo (%)
- $lc_{res}$  = Komposisi beban residensial (%)
- $n$  = 1, 2, 3, ..., 24

Untuk estimasi pembebanan jenis beban komersial, publik, dan industri dihitung dengan menggunakan persamaan seperti di atas. Hanya saja yang berbeda

adalah referensi daya, referensi faktor daya, dan komposisi beban menyesuaikan jenis beban yang akan diestimasi.

Penjumlahan nilai pembebanan masing-masing jenis beban pada setiap jam dapat dinyatakan dengan persamaan 2.40 berikut ini.

$$Pn_{total\_trafo\_loading} = Pn_{res} + Pn_{pub} + Pn_{com} + Pn_{ind} \quad (2.40)$$

### 3.3.2 Kurva Total Beban Harian

Setelah diperoleh kurva harian pada masing-masing trafo distribusi, maka jika beban seluruh trafo pada waktu yang sama dijumlahkan (mulai jam 1 sampai jam 24) maka akan diperoleh kurva total beban harian pada suatu penyulang. Hal ini dapat dinyatakan dengan persamaan 2.41 berikut:

$$Pn_{total\_penyulang} = \frac{\sum_{m=1}^{jum\_trafo} Pn_m}{1000} \text{ (MW)} \quad (2.41)$$

Keterangan:

$n = 1, 2, 3, \dots, 24$

$m =$  banyaknya trafo dalam penyulang tersebut

Nilai daya pada kurva ini merupakan daya murni yang dipakai oleh beban konsumen tanpa rugi-rugi di jaringan. Secara profil, bentuk kurva total ini identik dengan bentuk kurva hasil pengukuran beban penyulang di gardu induk. Akan tetapi secara volume (nilai daya) pada tiap-tiap komponen waktu tidaklah sama karena rugi-rugi di jaringan belum terhitung.

### 3.4 Estimasi Aliran Energi ( *Energy Flow* )

Setelah melakukan analisa aliran daya maka langkah selanjutnya adalah mengitung aliran energi. Aliran energi dapat diestimasi dengan menggunakan persamaan sebagai berikut [10]:

$$EA_i = \text{Int}_k.P_i \quad (3.4)$$

$$ER_i = \text{Int}_k.Q_i \quad (3.5)$$

Dimana:

$EA_i$  = Besar Aliran Energi Aktif pada bus i (kWh)

$ER_i$  = Besar Aliran Energi Reaktif dari bus i (kVARh)

$Int_k$  = Besar interval ke-k yang pada saat energi dihitung (Jam)

$P_i$  = Besar Aliran Daya Aktif pada bus i (kW)

$Q_i$  = Besar Aliran Daya Reaktif pada bus i (kVAR)

Sedangkan aliran rugi-rugi energi diestimasi dengan menggunakan persamaan berikut:

$$EA_{ij} = Int_k . P_{ij} \quad (3.6)$$

$$ER_{ij} = Int_k . Q_{ij} \quad (3.7)$$

Dimana:

$EA_{ij}$  = Besar Rugi Energi Aktif dari bus i ke bus j (kWh)

$ER_{ij}$  = Besar Rugi Energi Reaktif dari bus i ke bus j (kVARh)

$Int_k$  = Besar interval ke-k yang pada saat energi dihitung (Jam)

$P_{ij}$  = Besar Rugi Daya Aktif dari bus i ke bus j (kW)

$Q_{ij}$  = Besar Rugi Daya Reaktif dari bus i ke bus j (kVAR)

### 3.5 Optimasi Lokasi dan Kapasitas Kapasitor

Dalam pemasangan kapasitor penting halnya menentukan lokasi kapasitor dan kapasitas kapasitor. Untuk penentuan lokasi kapasitor dibatasi tetap pada kondisi variasi beban. Sedangkan untuk kapasitas yang mengikuti variasi perubahan beban.

#### 3.5.1 Optimasi Lokasi Menggunakan *Loss Sensitivity Factor*

Penelitian ini mengoptimalkan lokasi dan kapasitas kapasitor. Lokasi kapasitor berdasarkan pada jumlah bus yang ada pada jaringan distribusi. Kita dapat menentukan lokasi yang menjadi kandidat untuk dipasang kapasitor dengan menggunakan analisa *Loss Sensitivity Factor* (LSF).

LSF bertujuan untuk mempredisikan bus mana yang sensitif yang mana memiliki losses yang paling besar sehingga menjadi kandidat bus yang akan dipasang kapasitor [18]. Untuk menghitung LSF dapat dilihat pada persamaan berikut :

$$\frac{\partial P_{line loss_{ij}}}{\partial Q_j} = \frac{2 * Q_j * r_{ij}}{(V_j)^2} \quad (3.1)$$

Dimana

$P_{line loss_{ij}}$  = Rugi daya aktif pada bus i ke bus j

$Q_j$  = Daya reaktif pada bus j

$r_{ij}$  = Resistansi pada bus i ke bus j

$V_j$  = Tegangan pada bus j

Algoritma untuk Analisis Sensitivitas

Langkah 1. Hitung LSF

$$LSF = \frac{\partial P_{loss}}{\partial Q} \text{ untuk semua bus}$$

Langkah 2. Urutkan LSF berdasarkan order terbesar

Urutkan nilai dari LSF berdasarkan order paling besar.

Langkah 3. Normalisasi

Hitung normalisasi magnitude tegangan

$$\text{Norm (i)} = \frac{V[i]}{0.95} \text{ dari semua bus}$$

Langkah 4. Pilih kandidat bus

Bus yang normalisasinya pada langkah 3 kurang dari 1.01 p.u maka dipilih sebagai kandidat bus yang akan dipasang kapasitor.

### 3.5.2 Optimasi Kapasitas Kapasitor Menggunakan APSO

Jumlah kapasitas kapasitor ini dimulai dari 500 kVAr hingga 1200 kVAr [19]. Penentuan kapasitas kapasitor disini tidak memperhatikan biaya kapasitor dan biaya pemasangan, dikarenakan keterbatasan metode. Data kapasitas kapasitor dapat dilihat pada Tabel 3.4.

Tabel 3.5 Data Kapasitas Kapasitor

No.	1	2	3	4	5	6	7
Kapasitas Kapasitor (kVAr)	150	350	450	600	800	900	1050
Biaya Kapasitor (\$/kVAr)	0,5	0,35	0,253	0,22	0,276	0,183	0,228
No.	8	9	10	11	12	13	14
Kapasitas Kapasitor (kVAr)	1200	1350	1500	1650	1800	1950	2100
Biaya Kapasitor (\$/kVAr)	0,17	0,207	0,201	0,193	0,87	0,211	0,176

### 3.6 Fungsi Objektif

Fungsi objektif dalam penelitian ini adalah untuk meminimalkan rugi jaringan sesuai persamaan (3.2).

$$\text{Min } F = \left[ \sum_{\substack{1 \leq j \leq N \\ 1 \leq i \leq N \\ i \neq j}} P_{ij(\text{loss})} \right] \quad (3.2)$$

Dimana  $P_{ij(\text{loss})}$  adalah rugi jaringan yang didapatkan dari persamaan (2.28). Oleh karena itu dibutuhkan batasan (*constraint*) untuk membantu mendapatkan hasil yang paling optimal. Jika batasan ini dilanggar maka hasil yang nantinya didapatkan bukanlah merupakan hasil yang optimal.

Batasan (*constraint*) untuk penelitian ini adalah sebagai berikut :

#### 1. Batas Kompensasi Daya Reaktif

Batas kompensasi daya reaktif yang mana diinjeksikan daya pada setiap kandidat bus harus dalam range yang diijinkan

$$Q_{ci}^{\min} \leq Q_{ci} \leq Q_{ci}^{\max} \quad (3.3)$$

Dimana  $Q_{ci}^{\min}$  adalah batas bawah daya reaktif yang dikompensasi pada bus  $i$ ,  $Q_{ci}$  adalah jumlah daya reaktif yang dipasang kapasitor pada bus  $i$  dan  $Q_{ci}^{\max}$  adalah batas atas kompensasi daya reaktif pada bus  $i$ .



## 2. Batas Tegangan

$$V_{i,\min} \leq V_i \leq V_{i,\max} \quad (3.4)$$

Pada sistem radial,  $V_{i,\min} = 0.95$  p.u dan  $V_{i,\max} = 1.05$  p.u. Dimana  $V_{i,\min}$  adalah batas bawah tegangan yang diijinkan,  $V_{i,\max}$  adalah batas atas tegangan yang diijinkan.

## 3. Total Kompensasi Maksimal

Maksimal total kompensasi dengan menggunakan kapasitor dibatasi oleh total permintaan daya reaktif beban.

$$\sum_{i=1}^{N_B} Q_c(i) \leq \sum_{j=1}^{n_1} Q_D(i) \quad (3.5)$$

Dimana  $Q_c(i)$  adalah jumlah daya reaktif yang terpasang pada bus  $i$  dan  $Q_D(i)$  adalah permintaan beban daya reaktif reactive pada bus  $i$ .

## 4. Faktor Daya Sistem Keseluruhan

Faktor daya sistem harus diatur dengan batas bawah dan batas atas yang diinginkan.

$$PF_{\min} < PF_{\text{overall}} < PF_{\max} \quad (3.6)$$

Dimana  $PF_{\min}$  adalah batas bawah faktor daya dari keseluruhan sistem pada gardu induk (slack bus) dan  $PF_{\max}$  adalah batas atas faktor daya dari keseluruhan sistem pada gardu induk (slack bus).

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB 4**

### **SIMULASI DAN ANALISIS**

Bab ini menjelaskan hasil simulasi yang menggunakan algoritma pemrograman seperti yang telah dibahas pada bab sebelumnya. Algoritma ini dibuat pada software MATLAB versi 2013a. Pada penelitian ini membahas tentang hasil perhitungan estimasi total pembebanan penyulang NR7 84 bus pada kota Medan dan juga hasil simulasi optimasi kapasitor dengan mempertimbangkan kondisi perubahan beban terhadap waktu.

#### **4.1 Hasil Estimasi Total Pembebanan Penyulang NR7 84 Bus Medan**

Setelah melakukan estimasi pembebanan selama 24 jam pada masing-masing trafo seperti telah dijelaskan pada bab sebelumnya dengan menggunakan persamaan 2.39 dan menggunakan persamaan 2.40, maka pembebanan total dalam satu penyulang selama 24 jam dapat ditentukan dengan menjumlahkannya seperti pada persamaan 2.41. Karakteristik pembebanan harian total suatu penyulang telah dapat ditentukan dan dapat membentuk kurva karakteristik penyulang tersebut. Hasil estimasi total pembebanan pada penyulang NR7 84 bus dapat dilihat pada Tabel 4.1.

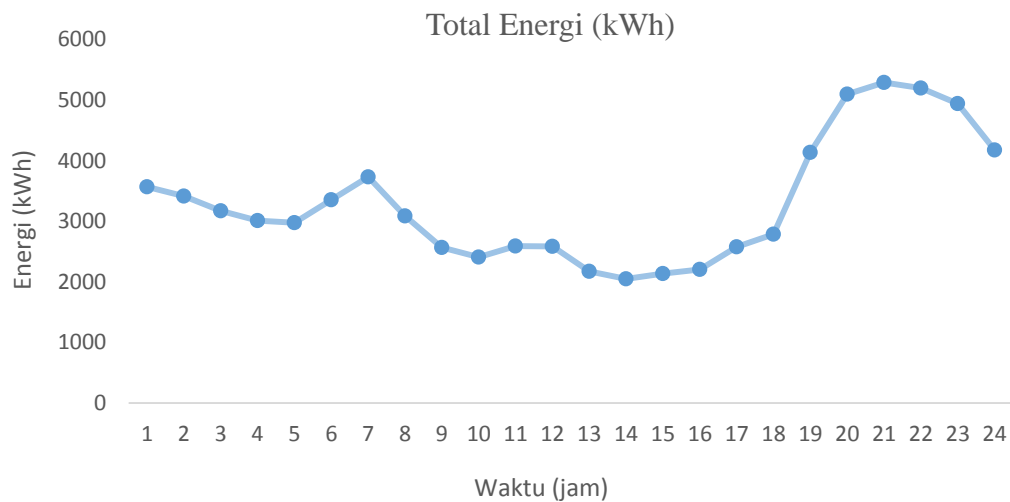
Tabel 4.1 Hasil Estimasi Pembebanan Penyulang NR7 84 Bus

Jam ke-	Total Energi (kWh)
1	3567,10
2	3412,45
3	3169,79
4	3008,85
5	2975,13
6	3354,03
7	3729,67
8	3086,45
9	2565,77
10	2408,17
11	2589,00
12	2585,56

Tabel 4.2 Hasil Estimasi Pembebanan Penyulang NR7 84 Bus (lanjutan)

Jam ke-	Total Energi (kWh)
13	2172,90
14	2049,07
15	2136,25
16	2202,81
17	2575,90
18	2785,56
19	4135,50
20	5095,33
21	5290,05
22	5196,41
23	4941,46
24	4173,97

Gambar 4.1 merupakan kurva karakteristik penyulang NR7. Kurva ini diperoleh dari hasil estimasi pembebanan seperti yang telah dijelaskan pada Tabel 4.1.



Gambar 4.1 Kurva Karakteristik Hasil Estimasi Pembebanan Penyulang NR7

#### 4.2 Pembagian Interval untuk Analisa Aliran Energi

Untuk melakukan analisis aliran energi, sebelum melakukan analisa energi disini perlunya melakukan pembagian interval. Karena nantinya tidak

memungkinkan dalam melakukan optimasi lokasi dan kapasitas kapasitor dilakukan setiap interval waktu (setiap satu jam). Maka dari itu perlunya pembagian interval untuk lebih memudahkan dan menyederhanakan dalam perhitungan. Untuk menentukan interval terdiri dari 3 bagian yaitu Interval 1, Interval 2 dan Interval 3. Karena beban pada penyulang NR7 adalah mayoritas beban residensial maka kurva karakteristik pembebanan dalam satu hari tidak terlalu naik tajam atau turun tajam.

Untuk pembagian interval, pada interval 1 yaitu untuk beban pada jam 1 hingga jam 8. Untuk interval 2 yaitu untuk beban pada jam 9 hingga jam 16. Untuk interval 3 yaitu untuk beban pada jam 17 hingga jam 24. Pembagian interval pada masing-masing interval dapat dilakukan dengan menjumlahkan beban yang ada pada interval tersebut. Misal pada interval 1 terdiri dari beban dari jam 1 hingga jam 8, maka semua beban tersebut dijumlahkan dan dibagi rata-ratanya, kemudian didapatkan total pembebanan pada interval 1 tersebut. Hasil pembagian interval dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil Pembagian Interval Pembebanan Penyulang NR7 84 Bus

No.	Interval	Total Energi P (kWh)	Total Energi Q (kVArh)
1	Interval 1	3287,93	2072,84
2	Interval 2	2338,69	1477,71
3	Interval 3	4274,27	2690,60

Dapat dilihat dari Tabel 4.2 dapat menentukan pembebanan berdasarkan 3 kategori, yaitu seperti berikut :

1. Interval 1 = Beban medium
2. Interval 2 = Beban rendah
3. Interval 3 = Beban maksimum.

#### 4.3 Hasil Simulasi Rugi Energi Penyulang NR7 84 Bus

Pada kondisi ini adalah kondisi dimana sistem distribusi penyulang NR7 84 bus masih dalam keadaan normal. Pada kondisi ini belum dilakukan optimasi kapasitor untuk meminimalkan kerugian energi. Berikut ini hasil dari simulasi pada

kondisi awal sebelum dilakukan optimasi kapasitor pada penyulang NR7 84 Bus dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil Simulasi Rugi-Rugi Energi Penyulang NR7 84 Bus

No.	Interval	Rugi Energi P (kWh)	Rugi Energi Q (kVArh)	Tegangan Minimum (kV)
1	Interval 1	12,49	19,11	19,8617
2	Interval 2	6,31	9,67	19,9019
3	Interval 3	21,21	32,45	19,8199

Tabel 4.4 menjelaskan tentang rugi-rugi energi dan tegangan minimum pada sistem distribusi penyulang NR7 84 bus tiap interval waktu pada kondisi awal sebelum dilakukan optimasi. Dapat dilihat pada Tabel 4.4 nilai tegangan minimum yaitu dari 19,8199 kV sampai 19,9019 kV. Pada penelitian ini fokus utama ialah meminimalkan rugi jaringan sistem distribusi penyulang NR7 84 bus. Langkah yang digunakan adalah optimasi lokasi dan kapasitas kapasitor .

Pada penelitian ini akan dilakukan 2 skenario yaitu optimasi kapasitor *fixed* menggunakan perbandingan algoritma *accelerated particle swarm optimization* (APSO) dengan *particle swarm optimization* (PSO) dan skenario kedua adalah optimasi kapasitor *fixed* dan kapasitor *switched* menggunakan algoritma *accelerated particle swarm optimization* (APSO).

#### **4.4 Hasil Simulasi Sistem Distribusi Penyulang NR7 84 Bus Setelah Optimasi Kapasitor Menggunakan Algoritma Accelerated PSO (APSO)**

Pada tahap ini dilakukan pemasangan kapasitor pada sistem distribusi radial 84 bus. Pemasangan kapasitor bertujuan untuk meminimalkan rugi jaringan. Pengoptimalan kapasitor dilakukan menggunakan *Accelerated Particle Swarm Optimization* (APSO) untuk kapasitas kapasitor. Data kapasitas kapasitor dapat dilihat pada bab 3. Hasil simulasi perbandingan optimasi kapasitor menggunakan APSO dan PSO dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Optimal Lokasi dan Kapasitas Kapasitor Menggunakan APSO dan PSO

Metode	APSO	PSO
Lokasi & Kapasitas (kVAr)	(42, 1050) (40, 800)	(80, 450) (40, 1500)
Total Kapasitas Kapasitor (kVAr)	1850	1950

Dapat dilihat pada Tabel 4.5 bahwa untuk Penyulang NR7 84 Bus membutuhkan 2 kapasitor dengan masing masing kapasitas yaitu 1050 kVAr yang dipasang pada bus 42 dan 800 kVAr yang dipasang pada bus 40. Total kapasitas kapasitor yang didapat dengan menggunakan metode *accelerated particle swarm optimization* adalah 1850 kVAr.

Sedangkan dengan metode yang berbeda, didapatkan total kapasitas kapasitor yang terpasang adalah 1950 kVAr. Yaitu 450 kVAr dipasang pada bus 80 dan 1500 kVAr dipasang pada bus 40 pada penyulang NR7 84 Bus. Untuk perbandingan masalah tegangan, rugi-rugi jaringan dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Perbandingan Hasil Optimasi Kapasitor Saat Tanpa Kompensasi dan Saat Kompensasi dengan Algoritma Berbeda

Perbandingan	Tanpa Kompensasi	Dengan Kompensasi	
		APSO	PSO
Vmin (pu)	0,9887	0,9956	0,9956
Vmax (pu)	1	1	1
Energy Ploss (kWh)	21,21	15,782	15,89
Reduksi Energy Ploss (%)	-	25,61	25,08
PF keseluruhan	0,8446	0,9803	0,9845
$\Sigma Q_c$ (kVAr)	-	1850	1950
Waktu Komputasi (s)	0,03	99,74	300,34

Pada Tabel 4.6 dapat dilihat perbandingan saat sebelum dilakukan kompensasi dan saat setelah dilakukan kompensasi. Saat sebelum di kompensasi tegangan minimum pada penyulang NR7 adalah 0,9987 p.u, namun setelah dilakukan optimasi menggunakan APSO maka tegangan minimum pada sistem tersebut menjadi lebih baik yaitu 0,9956 p.u. Untuk rugi-rugi energi sebelum dikompensasi yaitu 21,21 kWh, akan tetapi setelah dilakukan kompensasi rugi-rugi energy menjadi berkurang menjadi 15,782 kWh. Dapat dikatakan terjadi reduksi untuk energy loss sebesar 25,61 persen. Dibandingkan dengan menggunakan PSO, metode APSO lebih unggul dalam hal penurunan rugi-rugi energy. Sedangkan metode PSO hanya terjadi reduksi rugi-rugi energi sebesar 25,08 persen. Untuk kapasitas kapasitor 1850 kVAr dapat memperbaiki faktor daya yang asalnya adalah dibawah standard yakni 0,8446, kini menjadi 0,9803.

Keunggulan metode APSO disini adalah waktu komputasi yang lebih cepat serta lebih cepat mencapai konvergen yang *smooth* dan stabil. Tidak hanya itu, terbukti metode APSO dapat menghasilkan kualitas solusi yang lebih baik yaitu dalam hal reduksi rugi-rugi energi pada penyulang NR7 84 bus.

#### **4.5 Optimal Lokasi dan Kapasitas (*Fixed dan Switched*) untuk Penyulang NR7 84 Bus dengan Kondisi Variasi Beban**

Pada bagian ini digunakan kapasitor *fixed* dan *switched* yang dipertimbangkan saat perubahan beban. Telah dijelaskan sebelumnya bahwa ada beberapa pembagian interval beban. Karena disini untuk menentukan kapan kapasitor akan *switched on* maupun *switched off*. Untuk penentuan lokasi ditetapkan fix pada semua kondisi beban. Karena dalam kenyataannya tidak memungkinkan dalam hal ini melakukan optimasi lokasi kapasitor yang berubah terhadap variasi beban. Maka dari itu, lokasi kapasitor fix pada semua variasi beban.

Untuk beban rendah digunakannya kapasitor *fixed*, sehingga jika terjadi perubahan beban maka kapasitor *switched* akan bekerja(*on*). Jadi kapasitor *fixed* yang selalu terhubung pada sistem. Pada Tabel 4.7 dapat dilihat untuk kapasitor *fixed* dan kapasitor *switched* yang dipasang pada penyulang NR7 84 bus Medan.



Tabel 4.7 Optimal Lokasi dan Kapasitas (*fixed* dan *switched*) pada Penyulang NR7  
84 Bus Medan

<b>Beban Rendah</b>	Bus/lokasi	42	41
	Kapasitas (kVAr)	350	600
<b>Beban Sedang</b>	Bus/lokasi	42	41
	Kapasitas (kVAr)	450	450
<b>Beban Puncak</b>	Bus/lokasi	42	41
	Kapasitas (kVAr)	1050	1950

Dapat disimpulkan pada Tabel 4.7 bahwa saat beban rendah, kapasitor *fixed* yang terhubung dengan sistem. Jadi pada bus 42 dipasang kapasitor sebesar 350 kVAr dan pada bus 41 dipasang kapasitor sebesar 600 kVAr. Sedangkan untuk kapasitor *switched*, pada bus 42 dibutuhkan kapasitas sebesar 700 kVAr dan pada bus 41 dibutuhkan kapasitas sebesar 1350 kVAr.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB 5**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari hasil simulasi pada sistem distribusi penyulang NR7 84 bus didapat beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Dengan menggunakan algoritma APSO terbukti dapat meminimalkan rugi-rugi energi pada sistem distribusi NR7 84 bus. Dalam hal ini saat kondisi beban maksimum, didapatkan kerugian energi saat sebelum pemasangan kapasitor *fixed* adalah 21,21 kWh dan setelah pemasangan kapasitor *fixed* menjadi 15,782 kWh. Sedangkan menggunakan algoritma PSO didapat penurunan kerugian energi menjadi 15,89 kWh.
2. Nilai tegangan yang dihasilkan setelah pemasangan kapasitor menggunakan algoritma APSO menjadi lebih baik dengan tegangan minimum sebesar 0,9956 p.u.
3. Pertimbangan variasi perubahan beban dibagi menjadi 3 interval yaitu beban rendah, beban sedang dan beban puncak. Adapun kapasitor *fixed* dan *switched* dipasang pada bus 41 dan 42.
4. Untuk kapasitor *fixed* yang dipasang adalah 350 kVAr pada bus 42 dan 600 kVAr pada bus 41. Sedangkan untuk kapasitor *switched* yang dipasang adalah 700 kVAr pada bus 42 dan 1350 kVAr pada bus 41.
5. Dalam hal waktu komputasi, algoritma APSO terbukti lebih cepat mencapai konvergensi yang stabil dan *smooth*.

#### **5.2 Saran**

1. Untuk penelitian selanjutnya dapat dikembangkan melalui penggabungan pemasangan kapasitor dan *distributed generator* dengan metode yang lebih baru tentunya.
2. Penelitian selanjutnya dapat dikembangkan dengan *multi objective function*. *Multi objective function* dapat meliputi meminimalkan rugi jaringan, meminimalkan deviasi tegangan.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Saadat. Hadi, "Power System Analysis (Second Edition)," McGraw-Hill Education (Asia). Singapore, 2004.
- [2] Ng HN, MMA.Salama, AY Chikhani, "Classification of capacitor allocation techniques," *IEEE Trans Power Delivery*, vol.15, no.2, pp. 387-92, 2000.
- [3] NM. Neagle, DR. Samson, "Loss reduction from capacitors installed on primary feeders," *AIEE Trans*, vol.75, pp. 950-9, 1956.
- [4] H. Duran, "Optimal number, location and size of shunt capacitors in radial distribution feeders: a dynamic approach," *IEEE Trans Power Appar Syst.*, vol.87, no.9, pp.1769-74, 1968.
- [5] H. Yoshida, K. Kawata, Y. Fukuyama, "A particle swarm optimization for reactive power and voltage control considering voltage security assessment," *IEEE Trans Power Syst*, vol.15. no.4, pp.1232-9, 2000.
- [6] K. Prakash, M. Sydulu, "Particle swarm optimization based capacitor placement on radial distribution systems," *IEEE power engineering society general meeting*, C1-C5, pp.24-8, 2007.
- [7] G. Levitin, A. Kalyuzhny, A.Shenkman, M. Chertov, "Optimal capacitor allocation in distribution system using a genetic algorithm and a fast energy loss computation technique," *IEEE Trans Power Syst*, vol.15, no.2, pp.623-8, 2000.
- [8] M. R. Haghifam and O.P. Malik, "Genetic algorithm-based approach for fixed and switchable capacitors placement in distribution system with uncertainty and time varying loads," *IET Gener. Transm. Distrib.*, vol.1, no.2, pp. 244-252, 2007.
- [9] A. A. El fergany, A. Y. Abdelaziz, "Efficient heuristic-based approach for multi-objective capacitor allocation in radial distribution networks," *IET Gener. Trans. Distrib.*, Vol.8, Iss. 1, pp. 70-80, 2014.
- [10] Priyangga. H. Yoma, "Pengembangan Software Analisis Aliran Energi Tiga Fasa untuk Estimasi Aliran Energi Tiga Fasa pada Jaringan Distribusi Radial," Tugas Akhir Teknik Elektro-ITS, 2005.
- [11] Rohmawan. M. Zaini, "Identifikasi Karakteristik Jenis Beban pada Jaringan Distribusi Radial untuk Estimasi Pembebanan Trafo Distribusi," Tugas Akhir Teknik Elektro-ITS, 2006.

- [12] Simamora. Yoakim, "Optimasi Rekonfigurasi Jaringan pada Kondisi Beban yang Berubah Terhadap Waktu Menggunakan Particle Swarm Optimization," Tesis-Teknik Elektro ITS, 2016.
- [13] A. S. Pabla, "Electric Power Distribution 5<sup>th</sup> Edition," McGraw-Hill Book Company, Agustus 2003.
- [14] Jen Hao T, " A Direct Approach for Distribution System Load Flow Solutions," *IEEE Trans. on Power Delivery*, vol. 18, no. 3, pp. 882-887, 2003
- [15] T.-H. Chen, N.-C. Yang, "Three Phase Power Flow by Direct Zbr Method for Unbalanced Radial Distribution Systems", *IET Gener. Transm. Distrib*, Vol.3, Iss.10, pp.903-910, 2009.
- [16] Adel, Ragab, Abdel, Mohamed, "Optimal Capacitor Placement in Distribution System for Power Loss Reduction and Voltage Profile Improvement ," *IET Gener. Transm. Distrib*, Vol.10, Iss.5, pp. 1209-1221, 2016.
- [17] J. Kennedy and R. Eberhart, "Particle Swarm Optimization", In IEEE Int. Conf on Neural Networks, Perth, Australia, 1942-1948, 1995.
- [18] A. Elsheikh, Y. Helmy, Y. Abouelseoud, A. Elsherif, "Optimal capacitor placement and sizing in radial electric power system," *Elsevier Alexandria Engineering Journal*, vol.53, pp.809-816, 2014.
- [19] Y. M. Shuaib, M. S. Kalavathi, C. C. A. Rajan, "Optimal capacitor placement in radial distribution system using gravitational search algorithm," *Elsevier Electrical Power and Energy system*, vol.64, pp. 384-397, 2015.

## LAMPIRAN

Data Saluran Penyulang NR7 84 Bus

From Bus	To Bus	R (pu)	X (pu)
1	2	0,1296	0,1983
2	3	0,0054	0,00826
3	4	0,0108	0,01653
4	5	0,0108	0,01653
5	6	0,0108	0,01653
6	7	0,0108	0,01653
7	8	0,0108	0,01653
8	9	0,0216	0,03305
9	10	0,0108	0,01653
10	11	0,0108	0,01653
11	12	0,0108	0,01653
12	13	0,0054	0,00826
13	14	0,0054	0,00826
14	15	0,0108	0,01653
15	16	0,0108	0,01653
16	17	0,0216	0,03305
17	18	0,0108	0,01653
18	19	0,0216	0,03305
19	20	0,0108	0,01653
20	21	0,0108	0,01653
21	22	0,0054	0,00826
22	23	0,0216	0,03305
23	24	0,0108	0,01653
24	25	0,0216	0,03305
25	26	0,01361	0,02082
26	27	0,0054	0,00826
27	28	0,0054	0,00826
28	29	0,0216	0,03305
29	30	0,0108	0,01653
30	31	0,0108	0,01653
31	32	0,0216	0,03305
32	33	0,0108	0,01653
33	34	0,0108	0,01653
34	35	0,0108	0,01653
35	36	0,0054	0,00826
36	37	0,0054	0,00826
37	38	0,0108	0,01653
38	39	0,0108	0,01653
39	40	0,0108	0,01653
40	41	0,0054	0,00826

From Bus	To Bus	R (p.u)	X (p.u)
41	42	0,0108	0,01653
42	43	0,0108	0,01653
43	44	0,0054	0,00826
44	45	0,0108	0,01653
45	46	0,0108	0,01653
46	47	0,0108	0,01653
47	48	0,0054	0,00826
48	49	0,0108	0,01653
49	50	0,0108	0,01653
50	51	0,0216	0,03305
51	52	0,0108	0,01653
52	53	0,0108	0,01653
5	54	0,0108	0,01653
9	55	0,0108	0,01653
11	56	0,0108	0,01653
17	57	0,0108	0,01653
57	58	0,0108	0,01653
23	59	0,0108	0,01653
25	60	0,0108	0,01653
30	61	0,0108	0,01653
32	62	0,0216	0,03305
4	63	0,0216	0,03305
63	64	0,0108	0,01653
10	65	0,02808	0,04297
65	66	0,0216	0,03305
19	67	0,0054	0,00826
27	68	0,0054	0,00826
68	69	0,0108	0,01653
69	70	0,0108	0,01653
70	71	0,0054	0,00826
71	72	0,0108	0,01653
29	73	0,0216	0,03305
73	74	0,0054	0,00826
74	75	0,0054	0,00826
33	76	0,0054	0,00826
37	77	0,0216	0,03305
41	78	0,0216	0,03305
46	79	0,0216	0,03305
79	80	0,0108	0,01653
80	81	0,0108	0,01653
51	82	0,0108	0,01653
52	83	0,0054	0,00826
53	84	0,0054	0,00826



## BIOGRAFI PENULIS



Penulis memiliki nama lengkap Niken Adriaty Basyarach. Lahir di Surabaya pada tanggal 21 September 1992. Penulis mengawali pendidikan di SD Muhammadiyah 4 Pucang Surabaya pada tahun 1998-2004. Kemudian melanjutkan ke SMP Negeri 35 Surabaya pada tahun 2004-2007. Setelah lulus dari SMA Negeri 2 Surabaya pada tahun 2010, penulis melanjutkan pendidikan diploma (d3) di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS), Jurusan Teknik Elektro dengan program studi elektro industri dan lulus pada tahun 2013. Pada tahun yang sama, penulis melanjutkan pendidikan lintas jalur (s1) di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS), Jurusan Teknik Elektro dengan konsentrasi Sistem Tenaga Listrik, dan lulus pada tahun 2015. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan Magister di Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada tahun 2015. Semasa kuliah penulis aktif mengikuti berbagai seminar nasional maupun internasional dan pelatihan. Penulis merupakan salah satu member di Laboratorium Simulasi Sistem Tenaga (B.103) ITS. Penulis dapat dihubungi di alamat *email* : [nikenbasyarach@gmail.com](mailto:nikenbasyarach@gmail.com).